



Wpływ procesów oczyszczania ścieków w technologii SBR na stan sanitarny powietrza atmosferycznego

*Katarzyna Budzińska, Adam Traczykowski, Anita Jurek,
Bożena Szejniuk, Magdalena Michalska, Krzysztof Berleć
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz*

1. Wstęp

W ściekach, niezależnie od ich pochodzenia, występują liczne mikroorganizmy saprofityczne, względnie chorobotwórcze oraz patogenne [15]. Większość procesów oczyszczania ścieków przyczynia się do emisji drobnoustrojów do powietrza, najczęściej ma to miejsce podczas intensywnego przepływu, turbulencji lub procesów napowietrzania. Wykazano, że drobnoustroje mogą zostać unoszone do powietrza, jeżeli ich stężenie przekracza 10^3 komórek w 1 cm^3 ścieków [23]. W powietrzu mikroorganizmy tworzą bioaerozol, w skład którego wchodzi bakterie, wirusy oraz grzyby mikroskopowe. Wśród mikroflory powietrza identyfikowane są również bakterie patogenne tj.: *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aerococcus viridans* i inne [3, 15, 22]. Na przeżywalność mikroorganizmów w powietrzu wpływ wywierają takie czynniki jak: wilgotność względna, temperatura powietrza, stężenie tlenu, natężenie promieniowania widzialnego i ultrafioletowego oraz występowanie innych zanieczyszczeń [12]. Fracchia i wsp. [9] zaznaczają, że w rozprzestrzenianiu się bioaerozoli szczególną rolę odgrywają kierunek i prędkość wiatru, które mogą prowadzić do rozpraszania bioaerozolu na pobliskich obszarach mieszkalnych. Z uwagi na wpływ wielu czynników, zarówno biologicznych, jak i chemicznych na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego,

w celu ochrony środowiska i bezpieczeństwa ludzi konieczne jest wykonywanie kompleksowych badań, m.in. mikrobiologicznych, epidemiologicznych i chemicznych. Badania przeprowadzone przez Krzysztofika [16], Ossowską-Cypryk [18], Kalisz i wsp. [11] wykazały i potwierdziły słuszność wykorzystania metod mikrobiologicznych do wyznaczenia zasięgu oddziaływania oczyszczalni ścieków na otoczenie. Carducci i wsp. [5] uważają, że rozpoznanie strefy oddziaływania oczyszczalni ścieków na stan powietrza atmosferycznego ma istotne znaczenie ze względu na ochronę środowiska i zdrowie człowieka. Duże ryzyko zdrowotne związane z emisją drobnoustrojów chorobotwórczych powoduje, że konieczne jest prowadzenie monitorowania czystości mikrobiologicznej powietrza na terenie i wokół oczyszczalni ścieków.

Celem badań była ocena oddziaływania poszczególnych urządzeń oczyszczalni ścieków pracującej w technologii sekwencyjnych reaktorów biologicznych na zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza atmosferycznego.

2. Materiał i metody

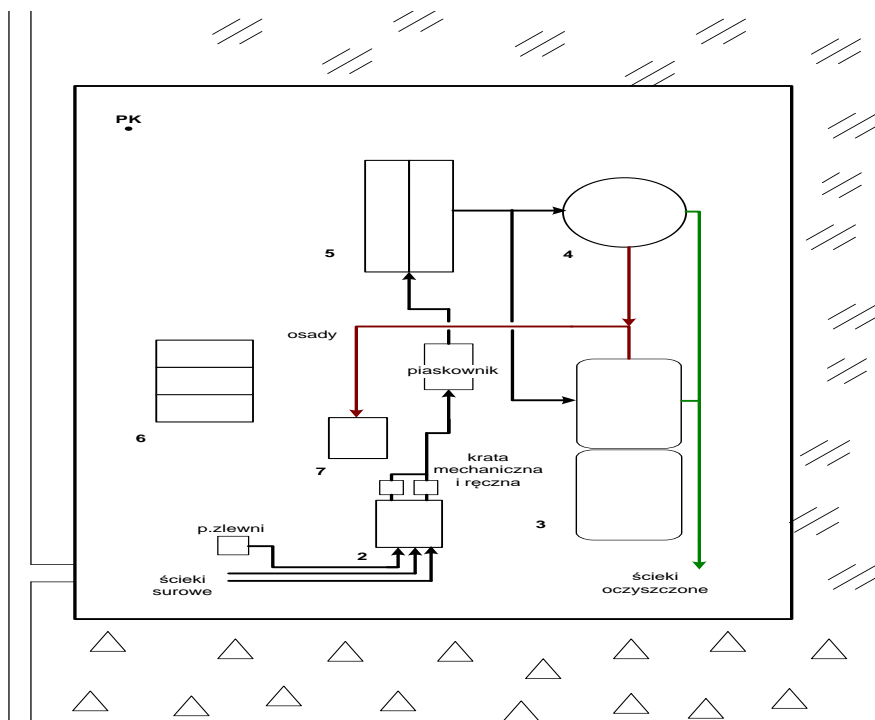
2.1. Charakterystyka oczyszczalni ścieków

Badania przeprowadzono na terenie mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych zlokalizowanej w województwie kujawsko-pomorskim. W oczyszczalni zastosowano sekwencyjne reaktory biologiczne (SBR) o przepustowości 1786 m³/d pracujące cyklicznie według technologii niskoobciążonego osadu czynnego. Maksymalny dobowy przepływ ścieków wynosi 2500 m³/d, natomiast średni przepływ godzinowy kształtuje się na poziomie 257 m³/h. Ze studzienki rozprężnej ścieki surowe napływają na kratę schodkową o szerokości kanału 400 mm i prześwicie 6 mm, oraz jako awaryjną, kratę płaską z ręcznym usuwaniem skratek o szerokości 400 mm i prześwicie 20 mm. Ścieki po zgrubnym oczyszczeniu kierowane są do piaskownika ze zgarniaczem pompowym typu ZP. Prowadzenie zgarniacza zapewniają cztery zespoły rolek, które prowadzą wózek po wewnętrznej stronie ścian bocznych kanału piaskownika. Do spodu wózka i barierki zamontowane są 2 zespoły pomp stanowiące element roboczy odsysający piasek na przemian z 2 kanałów piaskownika. Ścieki kierowane są następnie do osadnika typu Imhoffa. Jest to żelbetowy dwukomorowy zbiornik z dzwonowym

korytem oddzielającym część przepływową ścieków od fermentacyjnej. Objętość czynna komory przepływowej wynosi 116 m³, a fermentacyjnej 276 m³. Ścieki oczyszczone mechanicznie trafiają do dwóch komór osadu czynnego. Reaktory działają okresowo, tzn. pracują w cyklach następujących po sobie faz napełniania, natleniania, sedymentacji i spustu ścieków oczyszczonych. Reaktory SBR to zbiorniki żelbetowe, ze skośnymi ścianami, w których następuje proces biologicznego oczyszczania ścieków metodą niskoobciążonego osadu czynnego ze stabilizacją tlenową biomasy oraz biologiczną denitryfikacją i defosfatacją. Osad czynny zmieszany ze ściekami surowymi napowietrzany jest za pomocą rusztu napowietrzającego drobnopęcherzykowego z dyfuzorami. Komora napowietrzania pełni również rolę osadnika wtórnego w fazie sedymentacji i dekantacji. Z kolei mieszadło służy do mieszania i napędu cieczy w komorze osadu czynnego. Wymieszany z polielektrolitem osad jest wstępnie odwadniany na bębnowym zagęszczaczu rotacyjnym. Po wstępnym odwodnieniu osad zostaje sprasowany na prasie mechanicznej, a następnie jest składowany krótkoterminowo (kilka tygodni) na poletkach osadowych.

2.2. Miejsca poboru próbek powietrza

Próbki powietrza do badań mikrobiologicznych pobierano w „smudze” zanieczyszczeń, w okresie jesienno-zimowym oraz wiosenno-letnim, w ośmiu seriach pomiarowych. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1. Do analiz wytypowano od strony zawietrznej następujące punkty pomiarowe: P1 – w odległości 1 m od stacji krat; P2 – w odległości 2 m od reaktora SBR nr 2; P3 – w odległości 2 m od reaktora SBR nr 1; P4 – w odległości 1 m od osadnika typu Imhoffa; P5 – w odległości 1 m od poletek osadowych; P6 – w odległości 1 m od stacji odwadniania osadów. Dodatkowo od strony nawietrznej wyznaczono punkt kontrolny PK (tło) zlokalizowany w odległości 100 m od najbliższego obiektu emisji. W przeprowadzonych badaniach pobierano próbki powietrza o objętości od 200 do 1000 dm³ (w zależności od izolowanej grupy mikroorganizmów i punktu pomiarowego) metodą zderzeniową, za pomocą próbnika powietrza SAS 100.



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek powietrza: 1 (PK) – punkt kontrolny; 2 – stacja krat (P1); 3 – reaktor SBR (nr 2) (P2); 4 – reaktor SBR (nr 1) (P3); 5 – osadnik typu Imhoffa (P4); 6 – poletka osadowe (P5); 7 – stacja odwadniania osadów (P6); Δ – las; // – pola uprawne

Fig. 1. Location of sampling points: 1 (PK) – control point; 2 – decompression chamber (P1); 3 – SBR reactor (No. 2); 4 – SBR reactor (No. 1) (P3); 5 – Imhoff tank (P4); 6 – sludge drying beds (P5); 7 – sludge dewatering system (P6); Δ – forest; // – farmland

2.3. Badania mikrobiologiczne

Badania mikrobiologiczne prowadzono na agarze odżywczym oraz podłożach selektywnych, umożliwiających określenie liczebności mikroorganizmów wskaźnikowych w postaci jednostek tworzących kolonie (jtk), w przeliczeniu na 1 m^3 powietrza atmosferycznego.

Zakres analiz mikrobiologicznych obejmował oznaczenie:

- ogólnej liczby bakterii (agar odżywczy, inkubacja: 37°C, 24–48 godzin),
- ogólnej liczby grzybów (agar Sabourauda i RBC, inkubacja: 26°C, 3–5 dni),
- gronkowców hemolizujących α i β (agar z krwią, inkubacja: 37°C, 24–48 godzin),
- bakterii *Pseudomonas fluorescens* (agar Kinga B, inkubacja: 26°C, 5–7 dni),
- promieniowców (agar Pochona, inkubacja: 26°C, 5–14 dni),
- bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* (agar Mac Conkeya, inkubacja: 37°C, 24–48 godzin).

W każdym punkcie pomiarowym dokonywano poboru próbek powietrza na poszczególnych pożywkach w trzech powtórzeniach. Za końcowy wynik oznaczenia przyjmowano średnią arytmetyczną obliczoną ze wszystkich płytek dla danego punktu pomiarowego i odpowiednich grup mikroorganizmów. Identyfikację gatunkową wyizolowanych z powietrza bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i innych pałeczek Gramujemnych przeprowadzono testami biochemicznymi API 20 E i ID 32 E. Dodatkowo wykonywano barwienie komórek bakterii metodą Grama, określano typ hemolizy oraz przeprowadzano test na oksydazę cytochromową i katalazę. Grzyby rozpoznawano na podstawie badań mikroskopowych oraz cech morfologicznych wyrosłych na pożywkach kolonii [6]. Uzyskane wyniki zawartości poszczególnych mikroorganizmów w próbkach pobranego powietrza porównywano z wartościami normalnymi zawartymi w Polskich Normach (PN-89/Z-04111/02, PN-89/Z-04111/03).

2.4. Badania meteorologiczne

W trakcie poboru próbek powietrza wykonywano badania warunków meteorologicznych, na które składały się pomiary temperatury, wilgotności względnej, prędkości ruchu powietrza oraz określenie kierunku wiatru. Pomiary wykonywano miernikiem mikroklimatu MM-01 i wiatromierzem Wilda (tab. 1). Próbek powietrza nie pobierano w okresie opadów oraz bezpośrednio po nich.

Tabela 1. Wyniki pomiarów mikroklimatycznych
Table 1. Results of microclimatic measurements

| Okres badań | Seria pomiarowa | Temperatura powietrza [C°] | Wilgotność powietrza [%] | Prędkość ruchu powietrza [m·s ⁻¹] | Kierunek wiatru |
|------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|---|-----------------|
| jesiennie-zimowy | I | 7,1 | 57,9 | 0,5 | S-SE |
| | II | 10,5 | 53,2 | 0,5 | S-SE |
| | III | 5,2 | 58,3 | 0,6 | S-SE |
| | IV | 15,9 | 36,1 | 0,2 | N-NW |
| wiosennie-letni | V | 20,0 | 47,9 | 0,3 | N-NW |
| | VI | 18,1 | 44,9 | 0,7 | N-NW |
| | VII | 24,0 | 46,2 | 0,9 | S-SE |
| | VIII | 25,1 | 48,3 | 0,4 | S-SE |

3. Wyniki badań

Wyniki badań mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie oczyszczalni ścieków zestawiono w tabelach 2–5 i na rysunkach 2–8. Wykazano, że w okresie jesienno-zimowym średnia liczba bakterii mezofilnych wyizolowanych z próbek powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych była zróżnicowana i wahała się w zakresie od 61 do 915 jtk·m⁻³ (rys. 2). Największą liczbę tych mikroorganizmów stwierdzono w pierwszej serii pomiarowej w punkcie P3 (reaktor SBR nr 1), która wynosiła 1562 jtk·m⁻³ oraz w punkcie P4 (przy osadniku typu Imhoffa) 1232 jtk·m⁻³ (tab. 2). We wszystkich pozostałych seriach pomiarowych w żadnym z wyznaczonym do badań miejsc nie stwierdzono występowania tych mikroorganizmów na poziomie przekraczającym 1000 jtk·m⁻³. W miesiącach wiosennie-letnich średnia liczba bakterii mezofilnych wahała się w szerokim zakresie od 148 do 1830 jtk w 1 m³ badanego powietrza (rys. 2). Podobnie jak w okresie jesienno-zimowym największą emisję tych bakterii na poziomie 2020 jtk·m⁻³ odnotowano w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w pobliżu stanowiska krat (P1). Kolejnym istotnym źródłem emisji bakterii mezofilnych do powietrza był osadnik typu Imhoffa (P4), gdzie liczebność bakterii w okresie wiosennie-letnim była najwyższa i w jednej z serii pomiarowych wynosiła 1920 jtk·m⁻³. W próbkach powietrza pobieranego od strony nawietrznej (PK)

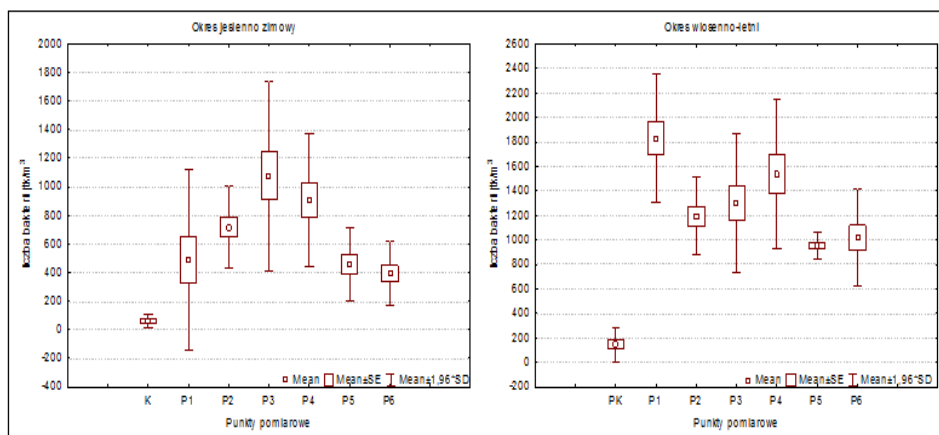
w obu okresach badawczych stwierdzono występowanie bakterii mezofilnych na niskim poziomie od 35 do 254 $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ (tab. 2).

Tabela 2. Ogólna liczba bakterii i grzybów w próbkach powietrza

Table 2. Total number of bacteria and fungi in samples of air

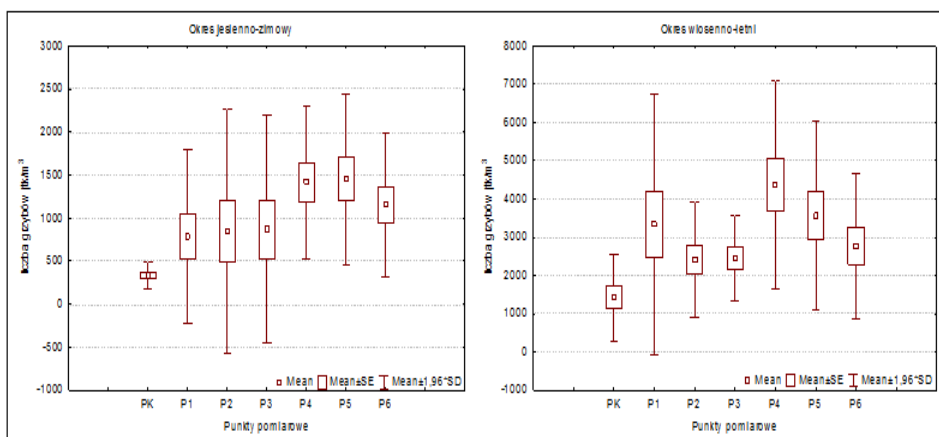
| Okres badań | Seria pomiarowa | Ogólna liczba bakterii [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$] | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesiennie-zimowy | I | 77 | 701 | 650 | 1562 | 1232 | 650 | 560 |
| | II | 35 | 104 | 564 | 778 | 659 | 350 | 372 |
| | III | 45 | 344 | 765 | 979 | 876 | 399 | 298 |
| | IV | 86 | 802 | 899 | 987 | 865 | 432 | 346 |
| wiosennie-letni | V | 112 | 1440 | 990 | 1023 | 1670 | 897 | 1320 |
| | VI | 125 | 2020 | 1324 | 1679 | 1244 | 1012 | 876 |
| | VII | 99 | 1980 | 1132 | 1145 | 1333 | 987 | 932 |
| | VIII | 254 | 1879 | 1320 | 1355 | 1920 | 921 | 945 |
| Okres badań | Seria pomiarowa | Ogólna liczba grzybów [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$] | | | | | | |
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesiennie-zimowy | I | 329 | 567 | 542 | 640 | 1524 | 1232 | 932 |
| | II | 298 | 540 | 420 | 478 | 1020 | 1133 | 899 |
| | III | 256 | 487 | 510 | 490 | 1119 | 1244 | 991 |
| | IV | 445 | 1560 | 1933 | 1879 | 2018 | 2209 | 1785 |
| wiosennie-letni | V | 654 | 1966 | 2077 | 2473 | 2565 | 2109 | 1954 |
| | VI | 1506 | 2899 | 2010 | 1983 | 4109 | 2998 | 2132 |
| | VII | 1490 | 2576 | 1996 | 2114 | 5011 | 4123 | 2911 |
| | VIII | 2056 | 5893 | 3567 | 3246 | 5790 | 4981 | 4094 |

W próbkach powietrza, pobranego od strony zewnętrznej, na terenie oczyszczalni ścieków w miesiącach wiosennych i letnich oznaczono średnią liczbę grzybów mikroskopowych w zakresie od 2413 do 4369 $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ (rys. 3). Powietrze oceniono jako przeciętnie czyste w jednej serii pomiarowej w punktach zlokalizowanych przy reaktorach SBR (P2 i P3), oraz dwukrotnie w pobliżu stacji odwadniania osadów (P5). Największą koncentrację tych mikroorganizmów oznaczono w powietrzu pobranym przy stanowisku krat w punkcie P1 (5893 $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$) oraz w miejscu czasowego składowania osadów ściekowych (5011 i 5790 $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$).



Rys. 2. Średnia liczba bakterii mezofilnych w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 2. The average number of mesophilic bacteria in the air samples from particular measurement points



Rys. 3. Średnia liczba grzybów w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 3. The average number of fungi in the air samples from particular measurement points

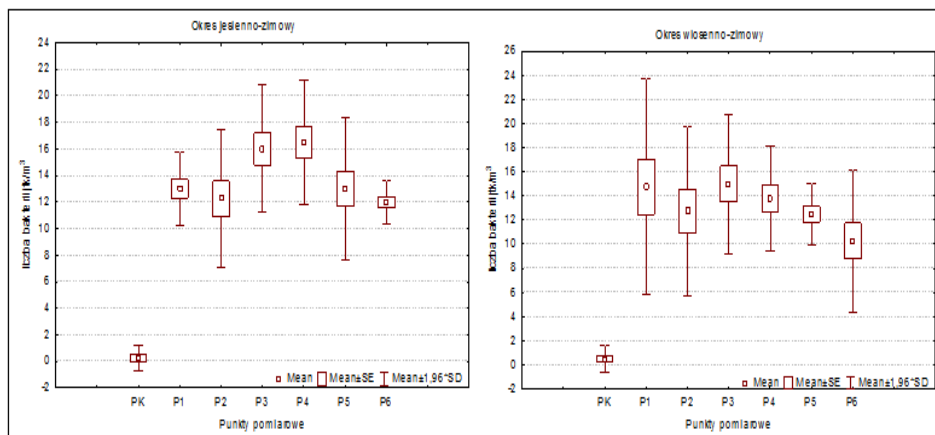
W sezonie jesienno-zimowym grzyby pleśniowe, drożdżoidalne i drożdże występowały w badanym powietrzu zdecydowanie mniej licznie, ich liczba utrzymywała się w zakresie od 256 do 2209 jtk·m⁻³. We wszystkich seriach pomiarowych badane próbki spełniały wymagania

określone dla powietrza nie zanieczyszczonego (tab. 2). Do najczęściej występujących w powietrzu na terenie oczyszczalni gatunków grzybów należały: *Penicillium notatum*, *P.waksmani*, *P.viridicatum*, *Mucor racemosus* i *Cladosporium herbarum*. Również *Alternaria alternata* pojawiła się we wszystkich punktach poboru próbek, jednak występowanie tego gatunku stwierdzono tylko w okresie wiosennym.

W okresie prowadzonych badań we wszystkich pobranych próbkach powietrza pobranych od strony zawietrznej stwierdzono występowanie gronkowców hemolizujących (tab. 3).

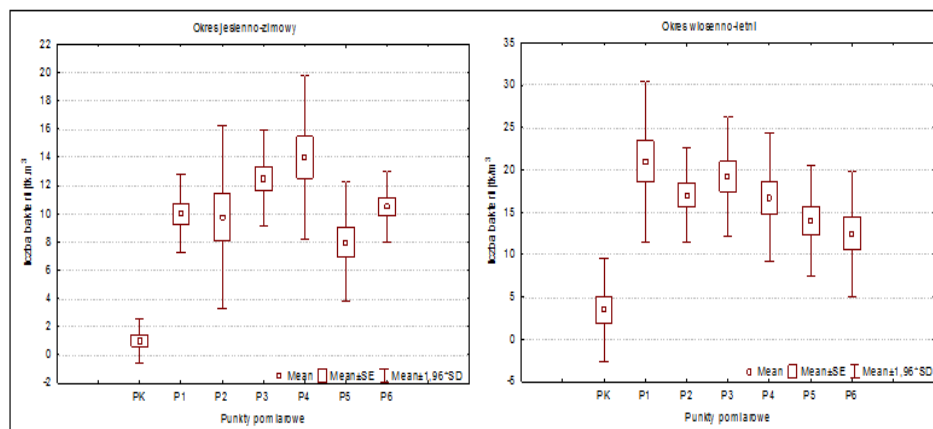
Tabela 3. Liczba gronkowców hemolizujących w badanych próbkach powietrza
Table 3. The number of hemolytic staphylococci in the tested samples of air

| Okres badań | Seria pomiarowa | Gronkowce hemolizujące typu α [jtk·m ⁻³] | | | | | | |
|------------------|-----------------|---|----|----|----|----|----|----|
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesiennie-zimowy | I | 0 | 14 | 10 | 14 | 15 | 12 | 13 |
| | II | 1 | 11 | 12 | 17 | 14 | 12 | 11 |
| | III | 0 | 13 | 11 | 19 | 19 | 17 | 12 |
| | IV | 0 | 14 | 16 | 14 | 18 | 11 | 12 |
| wiosennie-letni | V | 0 | 10 | 11 | 12 | 11 | 13 | 11 |
| | VI | 1 | 12 | 10 | 13 | 13 | 14 | 14 |
| | VII | 1 | 17 | 12 | 18 | 16 | 12 | 9 |
| | VIII | 0 | 20 | 18 | 17 | 15 | 11 | 7 |
| Okres badań | Seria pomiarowa | Gronkowce hemolizujące typu β [jtk·m ⁻³] | | | | | | |
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesiennie-zimowy | I | 0 | 9 | 10 | 15 | 17 | 8 | 11 |
| | II | 1 | 10 | 6 | 11 | 15 | 6 | 9 |
| | III | 2 | 9 | 14 | 12 | 10 | 11 | 12 |
| | IV | 1 | 12 | 9 | 12 | 14 | 7 | 10 |
| wiosennie-letni | V | 0 | 25 | 19 | 21 | 22 | 19 | 18 |
| | VI | 2 | 14 | 13 | 14 | 13 | 12 | 10 |
| | VII | 7 | 23 | 19 | 20 | 15 | 12 | 12 |
| | VIII | 5 | 22 | 17 | 22 | 17 | 13 | 10 |



Rys. 4. Średnia liczba gronkowców hemolizujących typu α w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 4. The average number of hemolytic staphylococci type α in the air samples from particular measurement points



Rys. 5. Średnia liczba gronkowców hemolizujących typu β w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 5. The average number of hemolytic staphylococci type β in the air samples from particular measurement points

W okresie jesienno-zimowym w powietrzu średnia liczba gronkowców hemolizujących typu α wahała się w zakresie od 12 (w punktach pomiarowych P2 i P6) do 17 jtk·m⁻³ (w punkcie P4). Na zbliżonym poziomie oznaczono gronkowce α -hemolizujące w miesiącach wiosenno-

letnich ($10\text{--}15 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$) (rys. 4). Liczebność gronkowców hemolizujących typu β w całym okresie prowadzonych badań wahała się w granicach od 6 do $25 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$. W próbkach powietrza pobieranego od strony nawietrznej (tło) stwierdzono występowanie gronkowców hemolizujących na bardzo niskim poziomie (tab. 3).

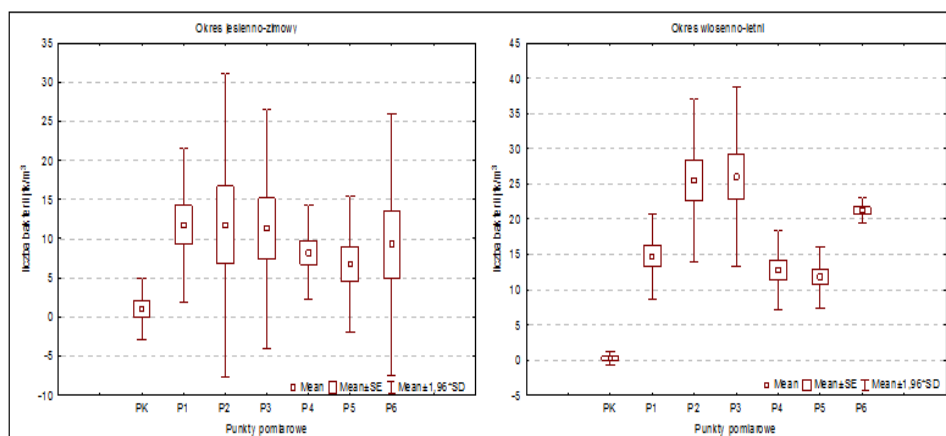
Z przeprowadzonych badań wynika, że średnia liczba bakterii *Pseudomonas fluorescens* wyizolowana z próbek powietrza w okresie jesienno-zimowym kształtowała się w zakresie od 7 do $12 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz od 12 do $26 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ w miesiącach wiosenno-letnich (rys. 6).

Tabela 4. Liczba *Pseudomonas fluorescens* i promieniowców w badanych próbkach powietrza

Table 4. The number of *Pseudomonas fluorescens* and actinomycetes in the tested samples of air

| Okres badań | Seria pomiarowa | <i>Pseudomonas fluorescens</i> [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$] | | | | | | |
|-----------------|-----------------|---|----|----|----|----|----|----|
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesienno-zimowy | I | 0 | 8 | 2 | 6 | 4 | 2 | 3 |
| | II | 4 | 7 | 5 | 4 | 8 | 4 | 3 |
| | III | 0 | 15 | 17 | 14 | 11 | 10 | 10 |
| | IV | 0 | 17 | 23 | 21 | 10 | 11 | 21 |
| wiosenno-letni | V | 0 | 12 | 19 | 18 | 11 | 10 | 20 |
| | VI | 0 | 19 | 30 | 33 | 11 | 11 | 22 |
| | VII | 1 | 13 | 31 | 29 | 12 | 11 | 22 |
| | VIII | 0 | 15 | 22 | 24 | 17 | 15 | 21 |
| Okres badań | Seria pomiarowa | Promieniowce [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$] | | | | | | |
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesienno-zimowy | I | 2 | 22 | 9 | 13 | 16 | 11 | 3 |
| | II | 0 | 14 | 9 | 8 | 13 | 14 | 9 |
| | III | 1 | 11 | 12 | 12 | 12 | 20 | 10 |
| | IV | 3 | 14 | 11 | 15 | 42 | 27 | 13 |
| wiosenno-letni | V | 2 | 17 | 14 | 12 | 11 | 32 | 12 |
| | VI | 1 | 19 | 15 | 16 | 16 | 22 | 14 |
| | VII | 4 | 9 | 4 | 8 | 7 | 23 | 17 |
| | VIII | 9 | 9 | 5 | 7 | 11 | 38 | 12 |

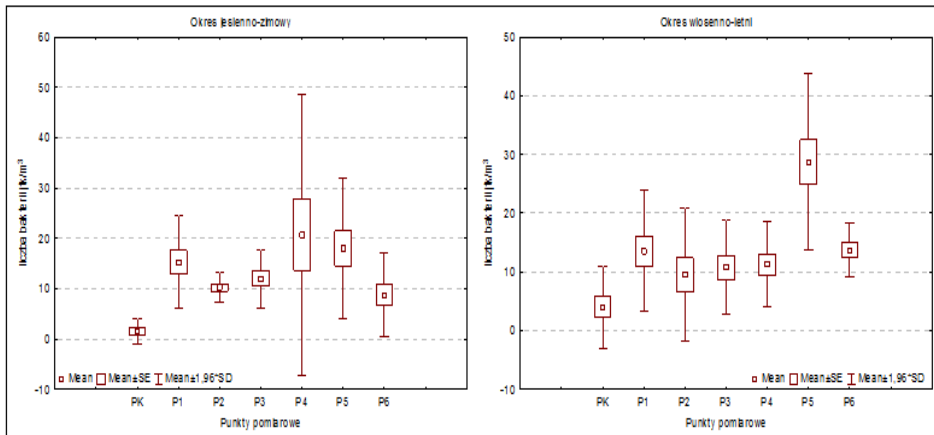
Do największej emisji bakterii *Pseudomonas fluorescens* dochodziło przy reaktorach SBR w całym okresie badawczym. Maksymalna liczebność tych bakterii w powietrzu w tym punkcie pomiarowym wynosiła $33 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ i odnotowano ją w szóstej serii pomiarowej w okresie wiosenno-letnim. W trakcie prowadzonych badań powietrze w punktach kontrolnych charakteryzowało się występowaniem pojedynczych komórek *Pseudomonas fluorescens* (tab. 4).



Rys. 6. Średnia liczba *Pseudomonas fluorescens* w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 6. The average number of *Pseudomonas fluorescens* in the air samples from particular measurement points

Liczba promieniowców w poszczególnych punktach pomiarowych w okresie jesienno-zimowym i wiosenno-letnim wykazywała znaczne wahania. Średnia liczba promieniowców oznaczona w próbkach powietrza w okresie prowadzenia badań mieściła się w granicach od 9 do $29 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ (rys. 7). Największą ich koncentrację na poziomie $42 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ stwierdzono w okresie jesienno-zimowym (IV seria pomiarowa) w punkcie usytuowanym przy osadniku typu Imhoffa (P4). Znacznym emitorem tych bakterii okazało się również miejsce składowania osadów ściekowych (P5), w którym stwierdzono ich występowanie na poziomie $38 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 4).



Rys. 7. Średnia liczba promieniowców w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

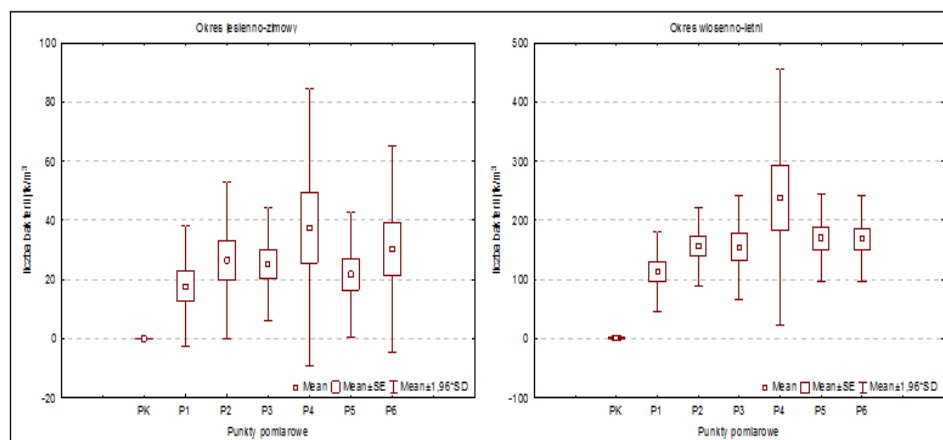
Fig. 7. The average number of actinomycetes in the air samples from particular measurement points

Przeprowadzona analiza bakteriologiczna wykazała występowanie we wszystkich pobranych od strony zawietrznej próbkach powietrza bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w zakresie od 8 do $394 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ (tab. 5).

Tabela 5. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w próbkach powietrza
Table 5. The number of *Enterobacteriaceae* family in the samples of air

| Okres badań | Seria pomiarowa | <i>Enterobacteriaceae</i> [$\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$] | | | | | | |
|-----------------|-----------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Punkt pomiarowy | | | | | | |
| | | PK | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| jesienno-zimowy | I | 0 | 9 | 10 | 15 | 17 | 8 | 11 |
| | II | 0 | 15 | 23 | 21 | 32 | 27 | 31 |
| | III | 0 | 14 | 31 | 27 | 29 | 19 | 25 |
| | IV | 0 | 33 | 42 | 38 | 72 | 33 | 54 |
| wiosenno-letni | V | 2 | 65 | 112 | 98 | 132 | 122 | 145 |
| | VI | 4 | 143 | 154 | 146 | 216 | 179 | 159 |
| | VII | 0 | 132 | 164 | 172 | 212 | 166 | 147 |
| | VIII | 0 | 111 | 194 | 204 | 394 | 213 | 223 |

Zdecydowanie największą koncentracją tych drobnoustrojów charakteryzowało się powietrze w okresie wiosenno-letnim. W próbkach powietrza pobranego w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w pobliżu osadnika typu Imhoffa średnia liczba tych bakterii była największa i wynosiła $239 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ (rys. 8). W okresie prowadzonych badań w próbkach powietrza oznaczono następujące gatunki bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i innych pałeczek Gram-ujemnych: *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Serratia liquefaciens*, *Salmonella* spp., *Klebsiella pneumoniae*, *K.oxytoca*, *Vibrio fluvialis*, *Pseudomonas putida*, *P.fluorescens* i *Aeromonas hydrophila*.



Rys. 8. Średnia liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w próbkach powietrza z poszczególnych punktów pomiarowych

Fig. 8. The average number of *Enterobacteriaceae* family in the air samples from particular measurement points

4. Dyskusja

W procesach oczyszczania ścieków, w zależności od zastosowanej technologii, szczególną rolę w generowaniu zanieczyszczeń do powietrza przypisuje się komórkom napowietrzania [2]. Badania wykonane przez Filipkowską i wsp. [7] wskazują, że w miejscach, w których występuje napowietrzanie ścieków systemem powierzchniowo zamontowanych aeratorów często stwierdza się znaczne zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza, zarówno pod względem ogólnej liczby bakterii, jak i grzybów. W badaniach własnych również wykazano, że reaktory SBR

są istotnymi emitarami bakterii mezofilnych do powietrza. W przypadku wszystkich serii pomiarowych w okresie wiosenno-letnim powietrze pobierane w pobliżu reaktorów SBR (P2 i P3) sklasyfikowano jako średnio zanieczyszczone, natomiast w miesiącach jesienno-zimowych w jednej serii badań dokonano takiej oceny. Grzyby strzępkowe w powietrzu atmosferycznym są dominującą grupą mikroorganizmów, ponieważ stanowią około 70% całej mikroflory [16]. W badaniach własnych grzyby należały do najliczniejszej grupy mikroorganizmów występujących w badanym powietrzu. Oznaczona ogólna liczba grzybów była największa w okresie wiosenno-letnim przy stanowisku krat oraz w miejscu czasowego składowania osadów ściekowych. Zanieczyszczenie zarodnikami grzybów odpowiadało kryteriom określonym w Polskich Normach dla powietrza, które może negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne człowieka. W badaniach własnych w próbkach powietrza najliczniej występowały grzyby z rodzaju *Penicillium*, *Mucor* i *Cladosporium*. Z kolei Filipkowska i wsp. [8] w trakcie prowadzonych badań w oczyszczalni w Pasłęku wśród izolowanych z powietrza grzybów stwierdzili przewagę pleśni głównie z rodzajów *Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria* i *Fusarium*.

Analiza ilościowa bakterii hemolizujących wykazała zbliżoną liczebność gronkowców w obu okresach badań. Uzyskane wyniki badań własnych wskazują, że powietrze we wszystkich punktach pomiarowych odpowiadało kryteriom dla powietrza średnio zanieczyszczonego. Największym emitorem bakterii α i β -hemolizujących było stanowisko krat i osadnik typu Imhoffa. Prażmo i wsp. [21] wykazali, że Gram-dodatnie ziarniaki, w tym *Staphylococcus*, występowały najliczniej przy przepompowni ścieków surowych i stanowisku krat. Michałkiewicz i wsp. [17] odnotowali natomiast, że największe zanieczyszczenie gronkowcami wystąpiło w okresie jesiennym. Należy podkreślić, że duża zmienność gronkowców, wyrażona opornością na antybiotyki, zróżnicowaniem produkowanych metabolitów, chorobotwórczością, rozprzestrzenianiem się i dużą wytrzymałością na czynniki zewnętrzne, czyni tę grupę bakterii potencjalnie niebezpiecznymi przy zakażeniu ludzi i zwierząt.

Bakterie *Pseudomonas fluorescens* bardzo często są izolowane z powietrza na terenie oczyszczalni ścieków komunalnych. W badaniach własnych stwierdzono występowanie w powietrzu tych bakterii we wszystkich punktach pomiarowych, przy czym do największej emisji

Pseudomonas fluorescens dochodziło przy reaktorach SBR, zarówno w okresie jesienno-zimowym, jak i wiosenno-letnim. Biorąc pod uwagę wymagania określone w Polskich Normach dla tych bakterii należy stwierdzić, że powietrze sklasyfikowano jako średnio zanieczyszczone. Potwierdzają to badania Brezy-Boruty i Paluszaka [1], które wykazały liczne występowanie tych drobnoustrojów, zwłaszcza w części mechanicznej przy piaskowniku, przy którym w powietrzu stwierdzono występowanie tych mikroorganizmów na poziomie od 9 do 44 jtk·m⁻³. Przybulewska i Czupryniak [20] wykrywali w powietrzu na terenie oczyszczalni ścieków *Pseudomonas fluorescens* w liczbie kilku jednostek tworzących kolonie w 1 m³. Badania własne dowodzą, że liczebność *Pseudomonas fluorescens* zawierała się w zakresie poniżej 50 jtk·m⁻³, co pozwoliło zakwalifikować powietrze jako średnio zanieczyszczone. Dla zdrowych osób bakterie te są nieszkodliwe, mogą jednak powodować ciężkie schorzenia u chorych z obniżoną odpornością. Patogenne szczepy *Pseudomonas fluorescens* mogą wywoływać u ludzi analogiczne stany chorobowe jak *P.aeruginosa*: zakażenia dróg oddechowych i moczowych, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, kości, szpiku oraz stawów [10, 20].

W badaniach własnych wykazano, że liczebność promieniowców w obu okresach badawczych była na zbliżonym poziomie. Średnia liczba promieniowców przekraczała poziom 10 jtk·m⁻³, co klasyfikuje powietrze jako średnio zanieczyszczone we wszystkich punktach pomiarowych. Największą koncentracją tych bakterii cechowało się powietrze w pobliżu miejsca składowania osadów ściekowych i osadnika typu Imhoffa. Piekarska i Traczewska [19] wykazały, że najwięcej promieniowców występuje w powietrzu na terenie kompostowni osadów. Potwierdzają to badania Brezy-Boruty i Paluszaka [1], według których największym źródłem emisji promieniowców był obszar gromadzenia kompostu otrzymanego z osadów ściekowych. Należy podkreślić, że termofilne promieniowce takie jak: *Actinomyces*, *Nocardia* i *Streptomyces* wykazują działanie silnie alergizujące, dlatego mogą przyczyniać się do wzrostu zachorowań u ludzi na choroby układu oddechowego [10].

Ścieki bytowo-gospodarcze charakteryzują się występowaniem dużej liczby drobnoustrojów, w tym form potencjalnie patogennych i chorobotwórczych, głównie z rodziny *Enterobacteriaceae* stąd też, w badaniach często zwraca się szczególną uwagę na tę grupę systematyczną przy rozpatrywaniu sanitarnego skażenia powietrza w otoczeniu

oczyszczalni ścieków [3, 4, 13]. Korzeniowska i wsp. [14] w powietrzu pobieranym na terenie oczyszczalni ścieków stwierdzali występowanie następujących gatunków z rodziny *Enterobacteriaceae*: *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Pantoea* spp. oraz *Citrobacter freundii*. W doświadczeniach własnych izolowano z próbek powietrza podobne gatunki bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, ponadto stwierdzono obecność pałeczek z rodzaju *Salmonella*. Z kolei Teltsch i wsp. [23] wykazali występowanie dodatniej korelacji między występowaniem tych bakterii w ściekach oraz w powietrzu na terenie oczyszczalni ścieków. Badania epidemiologiczne przeprowadzone przez Friisa [10] wykazały zwiększenie zachorowalności na choroby jelitowe i układu oddechowego u ludzi pracujących w oczyszczalni lub zamieszkujących w jej otoczeniu, w porównaniu do populacji kontrolnej.

5. Wnioski

1. Badania mikrobiologiczne powietrza na terenie oczyszczalni ścieków wykazały, że głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń były reaktory SBR, stanowiska krat, osadnik typu Imhoffa oraz miejsce składowania osadów ściekowych.
2. Powietrze oceniono jako średnio zanieczyszczone bakteriami *Pseudomonas fluorescens*, promieniowcami i gronkowcami hemolizującymi w całym okresie badawczym.
3. Przeprowadzone badania wykazały znaczną kontaminację powietrza grzybami mikroskopowymi w okresie wiosenno-letnim w próbkach pobranych przy stanowisku krat ($5893 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$) oraz w miejscu czasowego składowania osadów ściekowych ($5790 \text{ jtk} \cdot \text{m}^{-3}$).
4. W pobranym na terenie oczyszczalni ścieków powietrzu stwierdzono występowanie licznych bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, wśród których identyfikowano m.in. *Salmonella* spp., *Klebsiella pneumoniae* i *K. oxytoca*, których obecność stwarza zagrożenie zdrowia dla pracowników oczyszczalni ścieków oraz osób zamieszkujących w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Literatura

1. **Breza-Boruta B., Paluszak Z.:** *Influence of water treatment plant on microbiological composition of air bioaerosol.* PJOES, 16, 5, 663–670 (2007).
2. **Breza-Boruta B., Paluszak Z.:** *Ocena oddziaływania oczyszczalni ścieków na stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza.* Przemysł Chemiczny, 89, 4, 324–329 (2010).
3. **Budzińska K., Michalska M.:** *Zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza na terenie oczyszczalni ścieków z zakładów mięsnych.* Zesz. Nauk. Wyd. Budow. Inż. Środ. Politechnika Koszalińska, 20, 581–597 (2001).
4. **Budzińska K., Jurek A., Szejniuk B., Michalska M., Wroński G.:** *Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie oczyszczalni ścieków komunalnych.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1543–1558 (2011).
5. **Carducci A., Tozzi E., Rubulotta E., Casini B., Cantiani L., Rovini E., Muscillo M., Pacini R.:** *Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment.* Water Research, 34, 4, 1173–1178 (2000).
6. **Fassatiova O.:** *Grzyby mikroskopowe w mikrobiologii technicznej.* WNT Warszawa, 1983.
7. **Filipkowska Z., Janczukowicz W., Krzemieniewski M., Pesta J.:** *Microbiological air pollution in the surroundings of the wastewater treatment plant with activated-sludge tanks aerated by horizontal rotors.* PJOES, 9, 4, 273–280 (2000).
8. **Filipkowska Z., Janczukowicz W., Krzemieniewski M., Pesta J.:** *Municipal wastewater treatment plant with activated sludge tanks aerated by CELPOX devices as a source of microbiological pollution of the atmosphere.* PJOES, 11, 6, 639–648, 2002.
9. **Fracchia L., Pietronave S., Rinaldi M., Martinotti M.G.:** *The assessment of airborne bacterial contamination in three composting plants revealed site-related biological hazard and seasonal variations.* J. Appl. Microbiol., 100, 973–984 (2006).
10. **Friis L.:** *Health of municipal sewage workers. Studies of cancer incidence, biomarkers of carcinogenicity and genotoxicity, and self reported symptoms.* Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Medicine, 1015, 1–67 (2001).
11. **Kalisz L., Sablut J., Kaźmierczuk M.:** *Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza.* Ochr. Środ. i Zasob. Natur., 7, 33–54 (1994).

12. **Kolwzan B., Jadczyk P., Pasternak G., Gluszczyk J., Pawlik M., Krawczyńska M., Klein J., Rybak J.:** *Ocena stanu sanitarnego powietrza w otoczeniu wybranej oczyszczalni ścieków.* *Ochrona Środowiska*, 34, 2, 9–14 (2012).
13. **Korzeniewska E., Filipkowska Z., Gotkowska-Plachta A.:** *Miejska oczyszczalnia ścieków jako emitor bakterii z rodziny Enterobacteriaceae do powietrza.* *Ochr. Środ. i Zasob. Natur.*, 32, 178–182, 2007a.
14. **Korzeniewska E., Filipkowska Z., Gotkowska-Plachta A.:** *Miejska oczyszczalnia ścieków z komorami osadu czynnego, napowietrzanymi aeratorami typu Celpox jako emitor bakterii z rodziny Enterobacteriaceae do powietrza.* *Ochr. Środ. i Zasob. Natur.*, 32, 184–188, 2007b.
15. **Korzeniewska E., Filipkowska Z., Gotkowska-Plachta A., Janczukowicz W.:** *Bakteriologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków z systemem filtrów gruntowo-roślinnych.* *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 8, 1, 22, 161–173 (2008).
16. **Krzysztofik B.:** *Mikrobiologia powietrza.* Wyd. Uczeln. Politech. Warszawskiej, 1986.
17. **Michalkiewicz M., Pruss A., Dymaczewski Z., Michalak J.:** *Wpływ hermetyzacji wybranych etapów oczyszczania ścieków na mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza.* *Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Monografie. Komitet Inżynierii Środowiska, PAN Lublin*, 2, 59, 135–143 (2009).
18. **Ossowska-Cypryk K.:** *Zastosowanie mikroorganizmów wskaźnikowych do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu oczyszczalni ścieków przemysłowych.* *GWTiS*, 65, 5, 105–110 (1991).
19. **Piekarska T., Traczewska T.M.:** *Wpływ oczyszczalni ścieków na jakość mikrobiologiczną powietrza.* *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 36, 1, 19–25 (2002).
20. **Przybulewska K., Czupryniak M.:** *Microbial quality of air in various seasons under the influence of emissions from sewage treatment plant.* *Environ. Prot. Eng.*, 32, 3, 25–30 (2006).
21. **Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska Cz., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J.:** *Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant.* *Ann. Agric. Environ. Med.*, 10, 241–248 (2003).
22. **Wlazło A., Pastuszka J.S., Łudzień-Izbińska B.:** *Ocena narażenia na aerozol bakteryjny pracowników niedużej oczyszczalni ścieków.* *Med. Pracy*, 53, 2, 100–114 (2002).
23. **Teltsch B., Kedmi S., Bonnet L., Borenstajjn-Rotem Y., Katzenelson E.:** *Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-irrigated fields: ratios in air and wastewater.* *Appl. Environ. Microbiol.*, 39, 6, 1183–1190 (1980).

Effect of Wastewater Treatment Processes in SBR Technology on Sanitary Condition of Atmospheric Air

Abstract

Most processes of sewage treatment contribute to the emission of microorganisms to the air, and this most frequently takes place during an intensive flow or processes of aeration. The aim of this study was to assess the effect of individual devices of the sewage treatment plant on the degree of microbiological air pollution in the premises and in the vicinity of the tested facility. The air analyses were carried out at a mechanical and biological sewage treatment plant with an increased degree of removing organic compounds in the SBR technology of on average 1786 m³/d. In the experiment there was used the common compaction method using the sampler SAS 100. 8 research sites were appointed, including the control (background). It was found that the main source of bioaerosol emission in the studied sewage treatment plant was the decompression chamber and the Imhoff tank, and to a lesser degree, aeration chambers. For all the time of collecting samples no exceeding of permissible norms of the total number of bacteria and fungi in the air was observed. The number of staphylococci indicated that the air at all the technological facilities throughout the measurement period was moderately polluted. During all the experiment the average air pollution occurred under the influence of the presence of *Pseudomonas fluorescens*. The fungi species most frequently occurring in the air on the premises of the treatment plant included: *Penicillium notatum*, *Penicillium waksmani* and *Penicillium viridicatum*, *Mucor racemosus* and *Cladosporium herbarum*. Also *Alternaria alternata* occurred at all the sampling points, but this took place only in the spring period.

During the conducted studies, the following species of the family *Enterobacteriaceae* and other Gram-negative bacilli were determined in the air samples: *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Serratia liquefaciens*, *Salmonella* spp., *K.pneumoniae*, *K.oxytoca*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio*, *fluvialis*, *Pseudomonas putida*, *P.fluorescens* and *Aeromonas hydrophila*. Based on the conducted assessment of air pollution on the premises of the sewage treatment plant, the occurrence of numerous microorganisms was observed. Their main emission sources were SBR reactors, bare screen stations, the Imhoff tank and the place of sludge storage. The air was assessed as moderately polluted with the bacteria *Pseudomonas fluorescens*, actinomyces and hemolytic staphylococci. The occurrence in the air of numerous bacteria species of the family *Enterobacteriaceae* poses a hazard to people employed at the sewage treatment plant.